

Roger Vogel¹, Bernard Marti¹, Daniel Birrer¹, Toni Held¹, Roland Seiler¹, Hans Hoppeler²

¹ Sportwissenschaftliches Institut (SWI), Bundesamt für Sport (BASPO), Magglingen

² Anatomisches Institut der Universität Bern, Bern

Leistungsniveau, Herzfrequenz-Regulation und psychologische Faktoren als potentielle Prädiktoren von «Übertraining» im Ausdauersport: Ergebnisse einer Prospektivstudie mit Spitzenathleten

Zusammenfassung

Das Hauptziel der vorliegenden, nichtexperimentellen Prospektivstudie war es, bei Spitzenathleten im Ausdauerbereich mittels Kombination von psychologischen Fragebogen, einem orthostatischen Herzfrequenztest und einigen Trainingscharakteristika möglichst frühzeitig ein drohendes Overreaching (OR) zu erkennen.

Wir begleiteten 11 nichtprofessionelle Spitzenathleten (23.6 ± 4.4 a) der Sportarten Orientierungslauf (5 ?, 2 /), Triathlon (3 ?) und Duathlon (1 /) während 35.9 ± 5.4 Wochen, ohne direkt auf ihre Trainingsgestaltung Einfluss zu nehmen. Erfasst wurden das Trainingsvolumen, der Quotient von effektiv absolviertem Trainingspensum und dem ursprünglich geplanten Pensum (ΔTr), die Ruheherzfrequenz am Morgen (RHF), die beim morgendlichen Aufstehen ermittelte Herzfrequenzdifferenz stehend-liegend (Orthostasetest; ΔHF), sowie psychologische Parameter mittels Profile of Mood States (POMS) und Erholungs-Belastungs-Fragebogen «Sport» (EBF). Die a priori definierten und quantitativ operationalisierten Studienendpunkte waren: a) Inzidenz von im Laktatstufentest bestätigtem OR und Übertrainings-Syndrom (OTS) und b) Inzidenz einer ungeplanten Trainingsreduktion von wenigstens 20% ($\Delta\text{Tr} \leq 0.8$). Laktatstufentests auf dem Laufband zur Leistungs- und OR-Diagnose wurden mindestens zweimonatlich durchgeführt, zwischen zwei- und sechsmal pro Athlet.

Während der gesamten Beobachtungszeit von 395 Personen-Wochen fanden wir keinen Athleten mit OTS. Eine Probandin erlitt eine mittels Leistungstest dokumentierte Episode eines OR. Die Trainingszeit vor diesem Ereignis bewegte sich zwar im durchschnittlichen Rahmen, hingegen war die Alltagsbelastung beträchtlich. Die RHF zeigte kein konsistentes Muster. Die ΔHF hingegen stieg drei Wochen vor dem OR um 8 Schläge (von 23 auf 31) auf überdurchschnittliche Werte an und fiel in den zwei folgenden Wochen um 17 Schläge (von 31 auf 14) auf unterdurchschnittliche Werte. Drei Wochen nachher erreichte die ΔHF wieder Normalwerte. Die EBF- und POMS-Gesamtscores zeigten im Vorfeld des OR keine eindeutigen Verläufe.

Zehn Athleten mussten insgesamt 49 Mal (zwischen ein- und 10-mal pro Athlet) ihr Training ungeplant um 20% oder mehr reduzieren. Ursachen dafür waren Infekte (43%), Verletzungen (20%) sowie Müdigkeit (18%). Der ungeplanten, müdigkeitsbedingten Trainingsreduktion folgten durchschnittlich drei weitere Wochen mit reduziertem Training. Weder EBF- noch POMS-Gesamtscores waren für diese ungeplante Massnahme in eindeutiger interpretierbarer Weise prädiktiv, hingegen verbesserten sich beide Werte in den Folgewochen unter reduziertem Training. Weder RHF noch ΔHF zeigten einen konsistenten Zusammenhang mit der müdig-

Summary

Performance level, regulation of the heart rate and mood scores as presumed predictors of «overtraining» in endurance athletes: A prospective study with elite athletes

The main objective of this non-experimental prospective study was to evaluate the joint use of mood scores, an orthostatic heart rate test, and the description of training characteristics for an early detection of overreaching (OR) in elite endurance athletes.

We followed up 11 high performance, non-professional endurance athletes (23.6 ± 4.4 a) – orienteers (5 ?, 2 /), triathletes (3 ?) and a duathlete (/) – during 35.9 ± 5.4 weeks without interfering with their training schedule. A broad assessment was used, including training volume, the relation of planned to completed training (ΔTr), resting heart rate (RHR), difference between resting heart rate supine and standing (orthostatic test; ΔHR), the Profile of Mood States (POMS) and the Recovery-Stress-Questionnaire for Athletes (RESTQ-Sport). Main outcome measures were: a) incidence of OR and OTS and b) incidence of an unplanned reduction in training volume of at least 20% ($\Delta\text{Tr} \leq 0.8$). Treadmill tests were performed at least bimonthly, two to six times per athlete for performance assessment and diagnosis of OR.

During 395 person-weeks of follow-up, we found no athlete with symptoms and signs of OTS. One athlete suffered from one episode of OR, documented by impaired results in the performance test. In this case, training volume before OR was average, but out of training time was full of duties. RHR was within the personal range. A rise in ΔHR of about eight bpm (from 23 to 31) three weeks before OR was followed by a steep drop of about 17 bpm (from 31 to 14 bpm) the following two weeks. Values of ΔHR returned to normal variation three weeks thereafter. EBF and POMS-scores showed no consistent pattern before the episode of OR.

Ten athletes progressed to 49 unplanned reductions of their training volume for 20% or more (between 1 and 10 times per athlete), mainly because of infectious diseases (43%), injuries (20%), and fatigue (18%). On average, three more weeks of reduced training followed the reduction because of fatigue. In search of predictors of fatigue, neither EBF nor POMS were generally predictive, but both scores increased in the following weeks with reduced training. RHR and ΔHR showed no consistent correlation with fatigue induced training reduction. Using an individual approach, it was nevertheless possible to identify «individually correct» associations between one or more specific predictors and a defined outcome.

keitsbedingten Trainingsreduktion. Im «Einzelfall-Ansatz» war es hingegen oft möglich, einen oder mehrere «individuell richtige» Zusammenhänge zwischen einem oder mehreren Parametern und einem definierten Endpunkt herauszufiltern.

Die vorliegend erfassten hypothetischen Prädiktoren von Overreaching zeigten somit einen gewissen Zusammenhang mit dem Einzelfall des OR, gingen aber diesem nicht eindeutig voraus. Die gemessenen Parameter waren eher generelle Indikatoren eines Ungleichgewichtes zwischen Belastung und Erholung, ohne allerdings Frühwarnsymptome für die Endpunkte zu sein.

Unsere Resultate deuten darauf hin, dass es selbst mit einer Kombination von präsumtiven «Vorboten» eines drohenden Übertrainings nicht möglich ist, in allgemein gültiger Weise OR in seinem Frühstadium zu erkennen. Dagegen scheint es, dass auf einer strikt individuellen Ebene praktisch jeder der untersuchten Parameter dann als Prädiktor der Ermüdung dienen kann, wenn er in Relation zu einem individuellen Referenzwert, einer persönlichen Baseline gesetzt werden kann. Eine noch gründlichere Suche nach dem individuellen Verhalten von Parametern, die mit der Übertrainingsgenese in einem systematischen Zusammenhang stehen, ist unseres Erachtens der vielversprechendste Weg im Hinblick auf Trainingsmonitoring und Früherkennung des OR.

Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie» 49 (4), 163–172, 2001

Problemstellung

Wenn ein Hochleistungsathlet seine momentane Leistungsgrenze nicht erkennt oder über längere Zeit nicht beachtet, wird sein Training ineffizient. Es resultiert ein Overreaching (OR, Überbelastung) oder im schlimmsten Fall ein Übertrainings-Syndrom (OTS). Overreaching ist ein häufiges Problem. Beobachtungsstudien zeigen Inzidenzen um die 20% [1]. Karrierenprävalenzen von über 60% [2] werden beschrieben. Die Erholung vom Zustand des Overreachings dauert zwei bis drei Wochen [3, 4]. Ein unbehandeltes Overreaching kann ein OTS zur Folge haben. Für Athleten in Ausdauersportarten, die gewohnt sind, bis zu 30 Stunden pro Woche zu trainieren und dabei um die 200 Laufkilometer zurückzulegen, werden im Zustand des OTS kurze Spaziergänge zu einer erschöpfenden Belastung. Die Schlafdauer kann 14 Stunden pro Tag betragen. Die Erholung von diesem Zustand dauert mehrere Wochen bis Monate [3]. Reagiert ein Athlet oder sein Trainer hingegen rechtzeitig auf Frühwarnsymptome eines Overreachings (Leistungsstagnation, Müdigkeit, saure Muskeln, depressive Verstimmung etc.), kann er durch Redimensionierung des Trainingsumfanges oder der Trainingsintensität oder aber durch Ausbau erholungsfördernder Massnahmen ein Übertrainings-Syndrom vermeiden. Deshalb ist es wichtig, bereits ein OR frühzeitig zu erkennen und von einer normalen Ermüdung innerhalb einer harten Trainingsphase abzugrenzen.

Viele verschiedene Ursachen können eine Verschiebung des Gleichgewichtes zwischen Reiz und Erholung bewirken und somit zu Overreaching führen. Wohl dürfte ein «Locus Minoris Resistentiae» oder allenfalls mehrere solcher «Loci» des Athleten zuerst auf dieses Ungleichgewicht reagieren. Insbesondere eine längerfristige Verschiebung des Gleichgewichtes wirkt sich aber systemisch aus. Somit ist unwahrscheinlich, dass es einen einzelnen, allgemein gültigen Parameter zur Früherkennung des Overreachings gibt. Eine Beobachtungsstudie über das Übertrainings-Syndrom führt deshalb zu einem multifokalen Ansatz.

Die Liste der möglichen Symptome und Zeichen bei OR und OTS ist lang [5], ein Konsens über Frühwarnsymptome von OR fehlt. Problematische Studiendesigns und die oft fehlende oder ungenügende Operationalisierung von OR und OTS führen zu Schwierigkeiten bei der Interpretation der vorliegenden Literatur [6].

Das Hauptziel der hier vorgestellten, nichtexperimentellen Prospektivstudie war die Früherkennung von Overreaching bei Spitzenathleten im Ausdauerbereich (Triathlon, Duathlon und

In summary, in the one case of OR, our predictors were related to the condition, but did not precede it in an unequivocal way. The parameters under study were rather general signs of an unbalanced state of stress and recovery than real warning signs of the outcomes.

Our results suggest that even by a combination of presumed «predictors of overtraining» it is not possible to detect impending overreaching in a general way. However, using a strictly individualized approach, every single parameter under study might be a predictor of fatigue, when compared to an individual reference value, a so-called «personal baseline». The most promising road to monitor the training regimen of a given athlete, and to detect early signs of OR, might be an even more systematic search for individual patterns of behaviour and variations regarding the presumed predictive parameters of OR and OTS.

Orientierungslauf) im Verlauf einer Trainings- und Wettkampfsaison, ohne direkte Einflussnahme auf das Training. Dazu wurden operationalisierte Kriterien zur Diagnose des Overreachings definiert und Verlaufparameter ausgewählt, denen das Potential zur Früherkennung dieses Zustandes attestiert wird.

In dieser Beobachtungsstudie wurde auf das Training der Athleten möglichst wenig Einfluss genommen. Dies hatte mehrere Gründe: Wir wollten die Inzidenz von OR und OTS in einer «normalen» Wettkampfsaison erfassen und ein OR nicht künstlich herbeiführen. Ebenso sollten primär ungeplante Trainingsreduktionen des Athleten erfasst werden. Dies ist nur ohne Eingriff in die Trainingsplanung möglich. Schliesslich testeten wir zum Teil Athleten, die sich auf eine Weltmeisterschaft in ihrer jeweiligen Sportart vorbereiteten und entsprechend jahrelange Trainingserfahrung haben. Solche Sportler lassen sich ihr Training höchstens von ihrem Trainer, nicht aber von aussen stehenden Personen bestimmen.

Als Ärzte und Betreuer dieser Athleten hatten wir allerdings auch die Aufgabe, die Probanden optimal zu unterstützen. Es wäre somit moralisch nicht vertretbar gewesen, bei eindeutigen Hinweisen auf OR die Athleten nicht zu orientieren. Wenn also Indizien für die Gefahr eines OR vorlagen, so rieten wir dem Athleten, das Training anzupassen. Damit war allerdings eine gewisse Einflussnahme auf das Training vorhanden. Dies ist eine wesentliche Limitierung dieser Studie, die aber in der Arbeit mit Spitzenathleten kaum umgangen werden kann.

Mit dieser Studienanlage konnte es nicht Ziel der Arbeit sein, pathophysiologische Mechanismen zu erklären oder Hypothesen zur Entstehung von OR und OTS zu überprüfen.

Wahl potentieller Parameter zur Diagnose und Früherkennung des Overreachings

Die reduzierte Leistungsfähigkeit ist nahezu das einzige Zeichen von OR und OTS, welches von allen Autoren beschrieben wird. Es ist somit zwingend, dass bei einer Operationalisierung von OR die Leistungsfähigkeit mit einbezogen wird.

Die Wettkampfleistungen bei Triathlon, Duathlon und Orientierungslauf sind wegen der fehlenden Standardisierung nicht als absolute, objektive Leistungskriterien brauchbar. Ein normierter Leistungstest, der den Ansprüchen dieser Sportarten am besten entspricht, muss somit als Ersatz dienen. Die Quantifizierung eines allfälligen Leistungseinbruchs in einem Laktatstufentest auf dem Laufband kann bei Ausschluss von Krankheit die Grundlage zur Diskussion von OR bilden.

Eine ermüdungsbedingte, primär ungeplante Trainingsreduktion kann einen Hinweis auf das Vorliegen eines OR geben, denn mit einer Trainingsreduktion kann versucht werden, eine Übermüdung und schliesslich ein OR zu verhindern. Der Vergleich von effektiv absolviertem Training mit dem ursprünglich geplanten Pensum ist aber auch ein Verlaufsparemeter.

Soll ein Verlaufsparemeter für die Früherkennung von OR und OTS geeignet sein, muss er häufig gemessen werden (z.B. täglich oder wöchentlich). Leben und trainieren die Athleten nicht zusammen in einem zentralen Stützpunkt, so müssen aus Gründen der Testgenauigkeit und der Compliance bei einer lange dauernden Studie Verfahren gewählt werden, die wenn möglich dem Athleten schon bekannt und von ihm alleine mit geringem zeitlichem Aufwand möglichst engmaschig durchgeführt werden können. Bei langer Beobachtungsdauer sind invasive Tests für das Trainingsmonitoring weniger geeignet. Das mit biochemischen Methoden gesteuerte Training gewinnt tendenziell dennoch an Bedeutung [7, 8], selbst wenn die biochemischen Kriterien zur Diagnose des Overreaching bis jetzt meist nicht bestätigt werden konnten [9, 10].

Viel versprechend und praktikabel erscheinen hingegen Herzfrequenzmessungen und psychologische Fragebogen. Falls bei OR und OTS das Autonome Nervensystem vorrangig beteiligt ist [11, 12], so sind Veränderungen der Ruheherzfrequenz und der Herzfrequenzdifferenz stehend-liegend (ΔHF) z.B. im Orthostatetest nach Czajkowski [13] zu erwarten. Psychologische Fragebogen, wie das Profile of Mood States (POMS) [14], werden spätestens seit den Grundlagenarbeiten von Morgan [2] immer mehr zur Trainingssteuerung eingesetzt. Ebenso nimmt der Erholungs-Belastungs-Fragebogen nach Kellmann und Kallus [15] in Anspruch, ein Mass für die Erholungs-Belastungs-Bilanz eines Athleten zu sein.

In der vorliegenden Längsschnittstudie mit einigen der besten Orientierungsläufer und Triathleten der Schweiz stellten wir vorrangig die Frage nach der Inzidenz von Overreaching (OR) und Übertrainings-Syndrom (OTS) und ob bereits relativ einfache Tests oder Test-Kombinationen genügen, um ein drohendes Overreaching bei Spitzenathleten im Ausdauerbereich frühzeitig festzustellen. Zudem interessierte uns die Häufigkeit einer primär ungeplanten, d.h. unfreiwilligen Redimensionierung des Trainings bei diesen Athleten und wie sich Trainingsparameter, Resultate aus den Leistungstests, Ruheherzfrequenz, Herzfrequenzdifferenz stehend-liegend, POMS und EBF innerhalb einer Wettkampfsaison spontan verändern. Schliesslich wurde ein Zusammenhang zwischen Übertrainings-Syndrom bzw. Overreaching oder der ungeplanten, müdigkeitsbedingten Trainingsreduktion und den von uns gemessenen Parametern gesucht.

Methodik

Wir begleiteten 11 nichtprofessionelle Spitzenathleten (23.6 \pm 4.4 a) der Sportarten Orientierungslauf (5 \pm 2 J), Triathlon (3 \pm 1 J) und Duathlon (1 J) während 35.9 ± 5.4 Wochen, ohne direkt auf ihre Trainingsgestaltung Einfluss zu nehmen.

Die Probanden erfassten täglich die gängigen Parameter des Trainings wie Art und Dauer der Trainingseinheiten sowie deren subjektive Intensität nach Borg [16]. Mehrmals wöchentlich wurden am Morgen die Ruheherzfrequenz im Liegen sowie die Herzfrequenzdifferenz stehend-liegend ermittelt. Einmal wöchentlich füllten die Athleten je ein Exemplar der deutschen Version des «Profile of Mood States» (POMS) [14] und des «Erholungs-Belastungs-Fragebogens-52, Version Sport» (EBF) [15] aus.

Der POMS ist ein aus 34 Adjektiven bestehendes Instrument zur Erfassung der Befindlichkeit. Dabei werden in der deutschen Version die Dimensionen Niedergeschlagenheit, Müdigkeit, Tatenlosigkeit und Misstrauen erfasst. Die Items sind kategorienskaliert und lassen 5 Antwortmöglichkeiten von «gar nicht» bis «sehr stark» zu.

Der EBF-Sport soll mit 52 Fragen die Erholungs-Beanspruchungs-Bilanz von Athleten erfassen. Dabei werden 7 Dimensionen der allgemeinen Belastung (z.B. Konflikte/Leistungsdruck,

Übermüdung), 5 Dimensionen der allgemeinen Erholung (z.B. soziale Erholung, Schlaf), 4 Dimensionen der sportlichen Belastung (z.B. gestörte Pause) sowie 3 Dimensionen der sportlichen Leistungsbereitschaft erfasst (z.B. Selbstregulation). Die Fragen sind kategorienskaliert und in folgendem Stil gehalten: «In den letzten (3) Tagen/Nächten ... hatte ich zu wenig Schlaf», «... habe ich wichtige Arbeiten abgeschlossen» etc. Es stehen 7 Antwortmöglichkeiten von «nie» bis «immerzu» zur Verfügung.

Etwa alle zwei Monate wurde eine sportmedizinische Kontrolle durchgeführt. Diese bestand aus einer Blutentnahme, der Bestimmung von anthropometrischen Daten und einem standardisierten, maximalen Laktatstufentest auf dem Laufband [17]. Bei der ersten Kontrolle zum Studienbeginn wurden ausserdem eine vollständige sportmedizinische Anamnese und ein Status erhoben sowie ein EKG durchgeführt. Im Anschluss an die Testserie wurden der Leistungstest und die bisher erhobenen Daten mit dem Probanden besprochen. Das Datum für die sportmedizinische Kontrolle legten die Athleten in Abhängigkeit von ihrem Trainingsplan in einer regenerativen Trainingsphase fest. Die Blutparameter dienten in dieser Studie vor allem zum Ausschluss von Krankheiten als Ursache für eine Ermüdung [18] oder zur Erfassung von Mangelzuständen (z.B. Eisenmangel). Die Athleten waren bezüglich Ernährung und der Einnahme von Supplementen völlig frei.

Wahl der «Studienendpunkte»

Das einzig sichere und reproduzierbare Zeichen von OR und OTS ist der primär ungeplante und unerwartete Leistungseinbruch. Ein Leistungseinbruch wegen einer negativen Erholungs-Belastungs-Bilanz kann vom Athleten vermieden werden, indem er sein Training reduziert oder indem er vermehrt erholungsfördernde Massnahmen ergreift. Eine primär ungeplante Trainingsreduktion ist quantifizierbar, wenn man das ursprünglich geplante Training mit dem effektiv absolvierten Pensum vergleicht.

Quantitative leistungsdiagnostische Kriterien für ein Overreaching

Nur wenige Autoren haben versucht, Kriterien für einen Leistungseinbruch festzulegen. Im Allgemeinen wird bereits eine Leistungsminderung von weniger als 3% für einen Spitzenathleten als gravierend angesehen [19]. Im Saisonverlauf sind solche an sich geringe Schwankungen aber zu erwarten.

Auf Grund von klinischen Erfahrungen mit mehreren hundert Leistungstests mit Spitzenathleten im Ausdauerbereich haben wir folgende Kriterien als Basis zur Diskussion von Overreaching aufgestellt:

1. Eine Abnahme der Maximalgeschwindigkeit im Laktatstufentest auf dem Laufband (um 0.6 km/h oder um 10%).
2. Eine Abnahme der Laktatkonzentration im Laktatstufentest um 1.0 mmol/l oder um 20% auf der letzten in jedem der miteinander verglichenen Tests vollständig durchlaufenen Stufe.
3. Eine Veränderung der Herzfrequenz im Laktatstufentest um durchschnittlich 10 bpm pro Stufe. Verglichen werden nur diejenigen Stufen, welche in jedem der miteinander verglichenen Tests vollständig durchlaufen wurden.
4. Eine Zunahme der über alle Stufen aufsummierten Punkte auf der Borg-Skala um 3 oder mehr Punkte. Es werden nur die Punkte derjenigen Stufen zusammengezählt, die in jedem der miteinander verglichenen Tests vollständig durchlaufen wurden.

Von Overreaching bei einer Testperson wird dann gesprochen, wenn die Rahmenbedingungen zur Vorbereitung auf den Leistungstest eingehalten wurden [17] und im Vergleich mit dem Grundtest in der Saisonpause oder im Vergleich mit dem unmittelbaren Vortest Kriterium 1 und zwei der Kriterien 2–4 erfüllt sind.

Quantitatives Kriterium für eine primär ungeplante Trainingsreduktion

Wir vermuteten a priori, dass die primär ungeplante Trainingsreduktion – der «weichste» der Studienendpunkte – der häufigste Endpunkt sein werde. Zu dessen Erfassung wurde für jede Woche

das effektiv absolvierte Trainingsvolumen mit dem anfangs Woche geplanten Trainingspensum verglichen. Der prozentuale Anteil des absolvierten Pensums im Vergleich zum geplanten wurde abgeschätzt und festgehalten. Der Athlet hatte dadurch jede Woche die Möglichkeit, das Training neu anzupassen. Er war also nicht gezwungen, das Trainingsvolumen mit der Grobplanung anfangs Jahr oder anfangs der Trainingsphase zu vergleichen. Als primär ungeplante Trainingsreduktion wurde ein Trainingspensum von 80% oder weniger des ursprünglich geplanten Trainings definiert.

Datenanalyse

Bei den Parameterverläufen auf Gruppenebene berechneten wir Signifikanzen mit dem zweiseitigen t-Test nach Student für gepaarte Daten und legten das Signifikanzniveau auf 0.05 fest.

Um individuelle Antworttendenzen auszugleichen, wurden bei Analysen auf Einzelfallebene die Parameterverläufe individuell z-standardisiert und somit die Standardabweichung vom individuellen Mittelwert ermittelt. Im Jahresverlauf erwarteten wir eine recht grosse Streuung der Wochenwerte. Als Kriterium für einen Extremwert setzten wir deshalb ± 1.5 SD der individuellen z-Werte fest (im Folgenden mit «unterdurchschnittlich» oder «überdurchschnittlich» bezeichnet).

Resultate

Probanden, Follow-up-Dauer und Auftretenshäufigkeit der a priori definierten Endpunkte Overreaching und ungeplante Trainingsreduktion auf 80% oder weniger des ursprünglich geplanten Pensums sind aus *Tabelle 1* ersichtlich.

Inzidenz von Übertrainings-Syndrom und Overreaching

Während den total 395 Beobachtungswochen trat bei keinem unserer 11 Probanden ein Übertrainings-Syndrom nach unserer Definition [6] auf. In den insgesamt 48 Leistungstests erfüllte nur eine Testperson bei einem Laufbandtest unsere Kriterien für ein vermutetes Overreaching (OR). Dieser Test wurde Ende August 1999 (Woche 35) durchgeführt, vier Wochen nachdem die Athletin an den Weltmeisterschaften (WM) teilgenommen hatte.

Proband	Geschlecht	Sportart	Alter	Follow-up-Dauer	Ungeplante Trainingsreduktionen	Anzahl Leistungstests	Leistungstest erfüllt OR-Kriterien
A	m	OL	21	33	1	5	0
B	m	OL	21	41	3	4	0
C	m	OL	25	41	8	5	0
D	m	OL	22	28	5	4	0
E	m	OL	28	44	7	5	0
F	w	OL	23	31	0	5	0
G	w	OL	32	41	2	6	1
H	m	Tri	21	30	9	2	0
I	m	Tri	19	38	10	4	0
J	m	Tri	18	33	1	5	0
K	w	Dua	29	35	3	3	0
Summe				395	49	48	1
$\bar{\emptyset}$			23.6\pm4.4	35.9\pm5.4	4.5\pm3.5	4.4\pm1.1	0.1\pm0.3
Anteil am Total				100%	12%	100%	2%

Tabelle 1: Probandenkollektiv, Follow-up-Dauer und Auftretenshäufigkeit der a priori definierten Endpunkte Overreaching und ungeplante Trainingsreduktion auf $\leq 80\%$ des ursprünglich geplanten Pensums. m: männlich, w: weiblich, OL: Orientierungslauf, Tri: Triathlon, Dua: Duathlon, OR: Overreaching, $\bar{\emptyset}$: Durchschnitt \pm Standardabweichung.

Die maximale Laufgeschwindigkeit im Test in überbelastetem Zustand (OR-Test) war gegenüber dem Vortest (Ende Juli) um 0.6 km/h oder 3.1% erniedrigt und 0.3 km/h oder 1.6% niedriger als der zweit schlechteste Test der Probandin in dieser Saison. Die durchschnittliche Herzfrequenz pro Stufe nahm gegenüber dem Vortest um 13 Schläge pro Minute (bpm) ab, wobei die Differenz zum Vortest mit zunehmender Geschwindigkeit kontinuierlich abnahm. So betrug die Reduktion auf der ersten Stufe (9 km/h) 19 bpm und auf der letzten vollständig durchlaufenen Stufe (18 km/h) noch 5 bpm. Der über alle vollständig durchlaufenen Stufen aufsummierte Borgwert nahm gegenüber dem Vortest um 3 Punkte zu. Während die Laktatkonzentration ($[La^-]$) auf der letzten vollständig absolvierten Stufe mit 4.9 mmol/l den Wert aus dem Vortest erreichte, nahm die maximale $[La^-]$ von 8.3 auf 6.3 mmol/l ab.

Die Trainingsdauer dieser Athletin lag in der Herbstsaison im Jahresdurchschnitt. In den Ferien nach der OR-Test-Woche unternahm die Athletin neben dem Basistraining Wanderungen von 4–11 h pro Woche, weshalb die totale Trainingszeit zunahm.

Im Frühjahr überwogen positive POMS und EBF-Global scores (positive minus negative Dimensionen). Im Herbst gingen nur wichtige Wettkämpfe mit hohen, d.h. positiven Scores einher. In der OR-Woche zeigten die Scores sehr tiefe Werte, die sich in der anschließenden Erholungsphase stetig verbesserten.

Die Ruheherzfrequenz (RHF) sank eine Woche nach der WM stark ab, wie in allen Erholungsphasen bei dieser Athletin. RHF und Herzfrequenzdifferenz stehend-liegend (ΔHF) nahmen in der Folgeweche wieder zu, allerdings auf überdurchschnittliche Werte. Während sich die RHF im weiteren Verlauf auf durchschnittliche Werte einpendelte, brach die ΔHF von Woche 33 auf Woche 35 (OR-Test-Woche) um 17 bpm ein (von 31 bpm auf 14 bpm). In der anschließenden Erholungsphase verhielten sich die Werte genau umgekehrt.

Häufigkeit der primär ungeplanten Trainingsreduktionen

Zehn der 11 Athleten mussten ihr Training insgesamt 49-mal (zwischen ein- und 10-mal pro Athlet) primär ungeplant auf 80% oder weniger des ursprünglich vorgesehenen Pensums reduzieren. Dies entspricht 13% der von diesen 10 Athleten absolvierten 364 Trainingswochen, zwischen 3 und 30% der Beobachtungszeit pro Athlet. Ursachen für die ungeplanten Trainingsreduktionen waren 21-mal Infekte (43%), 10-mal Verletzungen (20%), 9-mal Müdigkeit (18%) und 5-mal Schule oder Studium (10%). Im Folgenden werden die Verläufe der Parameter in den Wochen vor und nach den krankheits- sowie den müdigkeitsbedingten Trainingsreduktionen betrachtet.

Verlauf der Parameter vor ungeplanter, krankheitsbedingter Trainingsreduktion («Krankheitswoche»)

Die 10 Athleten, die krankheitsbedingt das Training reduzierten, trainierten erst in der letzten Woche vor der Reduktion im Durchschnitt signifikant mehr als in der Krankheitswoche. Die interindividuelle Streuung war aber sehr gross. Nur 4 Athleten trainierten in den vier Wochen vor der Krankheit tatsächlich überdurchschnittlich, zwei trainierten sogar unterdurchschnittlich. Die Schlafdauer, RHF, ΔHF und POMS zeigten in dieser Zeit durchschnittliche Werte. Erneut ist die interindividuelle Streuung beträchtlich. Beispielsweise schliefen vier Athleten unterdurchschnittlich viel. Auch war die RHF zwar bei fünf Athleten überdurchschnittlich erhöht, bei zwei Athleten allerdings erniedrigt. Der durchschnittliche EBF-Gesamtscore war eine Woche vor der Krankheit überraschenderweise signifikant erhöht ($p = 0.02$), was «guten» Werten entspricht!

Verlauf der Parameter vor ungeplanter, müdigkeitsbedingter Trainingsreduktion («Reduktionswoche»)

Die Versuchspersonen D (in Woche 20 und 37), E (30, 31, 50), H (29, 31, 32) und I (24) mussten ihr Training wegen Übermüdung auf höchstens 80% des ursprünglich geplanten Pensums reduzie-

ren. Bei zwei Athleten (E und H) traten Serien solcher Reduktionen auf. Betrachtet wird dort nur die jeweils erste Reduktion. Somit werden für die nachfolgende Präsentation die Verläufe vor und nach den folgenden sechs «Reduktionswochen» berücksichtigt: D (20, 37), E (30, 50), H (29), I (24).

Keiner der Leistungstests erfüllt vor oder nach der Reduktionswoche unsere Kriterien von OR. Die Trainingsdauer vor der Trainingsreduktion war durchschnittlich (Abbildung 1). Nur die Probanden E (vor Woche 50) und H erhöhten ihr Trainingspensum in den Wochen vor einer ungeplanten Trainingsreduktion auf für sie überdurchschnittliche Werte (≥ 1.5 SD). Allerdings steigerte Proband E sein Training auch in vier anderen Wochen überdurchschnittlich, ohne dass eine Trainingsreduktion folgte. Erstaunlicherweise erreichte das Trainingspensum in der Reduktionswoche kein Minimum, sondern sank in der ersten Folgewoche signifikant ($p = 0.03$), in der zweiten tendenziell weiter ab ($p = 0.06$ gegenüber der Reduktionswoche). Es zeigte sich, dass die Athleten in dieser dritten Woche zwar das Gefühl hatten, sie trainierten nur 70% des geplanten Pensums, dass aber die Trainingsdauer im Jahresdurchschnitt lag. Offenbar hatten die Athleten in der fraglichen Woche überdurchschnittliche Pensum geplant.

Die durchschnittliche RHF war eine Woche vor der Reduktion statistisch signifikant erhöht. Der absolute Unterschied zur Reduktionswoche beträgt aber nur +2 bpm (Abbildung 2). RHF als auch die Δ HF schwankten im individuellen Verlauf von Woche zu Wo-

che. Beispielsweise brach die RHF von Proband D in der Reduktionswoche um 6 bpm ein, blieb aber beim selben Athleten vor einer anderen Reduktion konstant. Bei Proband H waren hingegen die 3 Erhöhungen von RHF und Δ HF mit Krankheit oder Müdigkeit assoziiert (Abbildung 3).

Die durchschnittlichen Gesamtscores von EBF (Abbildung 4) und POMS sind in der Reduktionswoche tief und scheinen sich unter reduziertem Training zu verbessern; allerdings unterscheidet sich keiner der Werte signifikant von demjenigen der Ereigniswoche.

Parameterverläufe über die gesamte Beobachtungsperiode

Die Parameterverläufe von RHF, Δ HF, EBF- und POMS-Gesamtscores, Trainingsdauer und Schlaf wurden individuell standardisiert. Tabelle 2 zeigt die Anzahl Werte, die in der Beobachtungsperiode von 395 Personenwochen ausserhalb von ≥ 1.5 SD des individuellen Mittelwertes des jeweiligen Parameters lagen, und zwar in den 4 Wochen vor einer primär ungeplanten Trainingsreduktion um 20% auf Grund von Krankheit, Müdigkeit und Verletzung, vor OR sowie ohne erkennbaren Grund. Je rund $\frac{2}{3}$ der Werte über 1.5 SD der RHF und unterhalb 1.5 SD der Δ HF stehen im Zusammenhang mit einem der Endpunkte. Für über die Hälfte der weiteren Parameterveränderungen ist hingegen vordergründig keine Erklärung ersichtlich.



Abbildung 1: Durchschnittliche Trainingsdauer von 4 Ausdauerathleten in den sieben Wochen vor und den sieben Wochen nach insgesamt 6 primär ungeplanten, müdigkeitsbedingten Trainingsreduktionen.

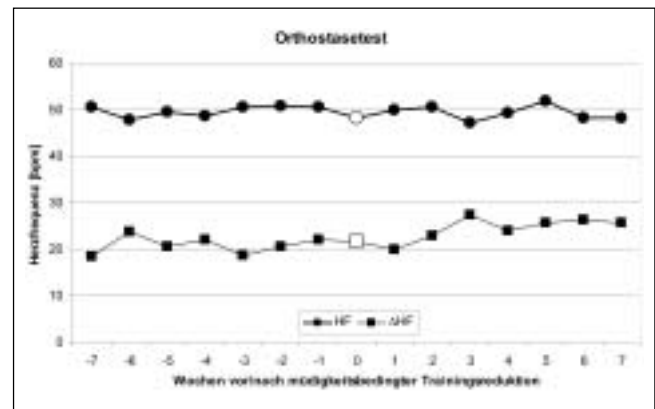


Abbildung 2: Verlauf des Orthostatetests (durchschnittliche Ruheherzfrequenz [HF] und Herzfrequenzdifferenz stehend-liegend [Δ HF]) bei 4 Ausdauerathleten in den sieben Wochen vor und den sieben Wochen nach insgesamt 6 primär ungeplanten, müdigkeitsbedingten Trainingsreduktionen.

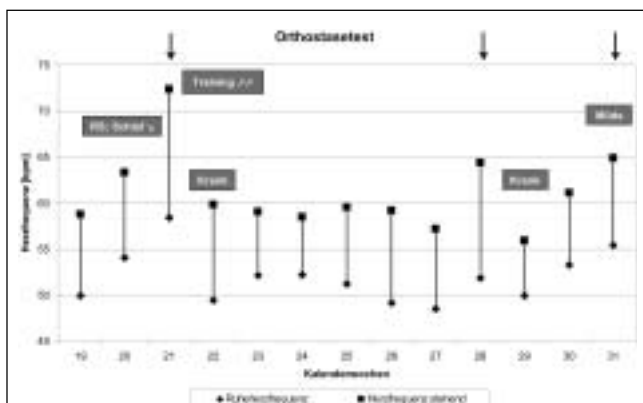


Abbildung 3: Verlauf des Orthostatetests (Ruheherzfrequenz und Herzfrequenz stehend) eines Triathleten während einer Saison, mit drei Erhöhungen von Ruheherzfrequenz und Herzfrequenz stehend vor krankheits- und vor müdigkeitsbedingter Trainingsreduktion (Pfeile). RS: letzte Woche der Rekrutenschule.

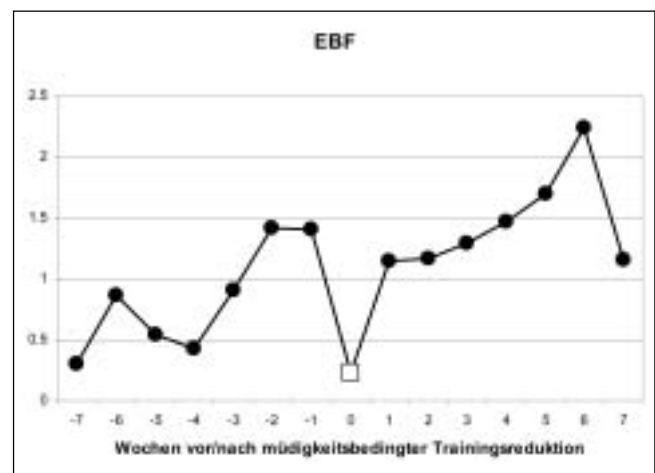


Abbildung 4: Verlauf der durchschnittlichen Gesamtscores des Erholungs-Belastungs-Fragebogens Version Sport bei 4 Ausdauerathleten in den sieben Wochen vor und den sieben Wochen nach insgesamt 6 primär ungeplanten, müdigkeitsbedingten Trainingsreduktionen.

	Ungeplante Trainingsreduktion wegen:			OR	ohne
	Krankheit	Müdigkeit	Verletzung		
RHF	↗ 5 (3)	3 (2)	2 (0)	1 (0)	5
	↘ 3 (2)	1 (1)	1 (0)	1 (0)	13
ΔHF	↗ 5 (3)	2 (0)	1 (0)	1 (0)	15
	↘ 3 (0)	2 (0)	2 (0)	1 (1)	7
EBF	↗ 3 (1)	1 (0)	1 (0)	0 (0)	11
	↘ 4 (3)	3 (2)	1 (0)	1 (0)	16
POMS	↗ 1 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	6
	↘ 7 (5)	3 (1)	2 (0)	2 (1)	15
Training	↗ 5 (1)	2 (0)	0 (0)	0 (0)	20
	↘ 5 (3)	0 (0)	4 (3)	0 (0)	13
Schlaf	↗ 7 (6)	0 (0)	2 (1)	0 (0)	16
	↘ 4 (0)	0 (0)	2 (1)	0 (0)	14

Tabelle 2: Anzahl Abweichungen von der intraindividuellen Norm (Anzahl Werte ≥ 1.5 SD) in den 4 Wochen vor einer primär ungeplanten Trainingsreduktion, vor Overreaching, sowie die spontan, d.h. ohne erkennbaren Grund aufgetretenen Abweichungen. In Klammern der Anteil der Veränderungen innerhalb der Woche der Reduktion bzw. des OR. RHF: Ruheherzfrequenz, ΔHF: Herzfrequenzdifferenz stehend-liegend; EBF: Gesamtscore des Erholungs-Belastungs-Fragebogens, Version Sport; POMS: Profile of Mood States; Training: Trainingsdauer; Schlaf: Schlafdauer; OR: Overreaching; ohne: Parameterveränderung ohne erkennbaren Grund; ↗: Wert ≥ 1.5 SD; ↘: Wert ≤ -1.5 SD.

Betrachtet man aber die individuellen Parameterverläufe, werden gewisse «typische» Zusammenhänge häufiger und deutlicher ersichtlich. So gehen beispielsweise schulische Belastungen von Proband C mit niedrigen Werten in den POMS- und EBF-Gesamtscores einher (Abbildung 5).

Bei einem anderen Probanden (Proband H) ist dagegen eine Zunahme der RHF und der ΔHF in den Wochen vor müdigkeits- und krankheitsbedingter Trainingsreduktion ersichtlich (Abbildung 3).

Diskussion

Inzidenz von Overreaching (OR) und des Übertrainings-Syndroms (OTS)

Während dieser multidisziplinär begleiteten Wettkampfsaison von 11 Spitzenathleten fanden wir keinen Fall eines OTS und nur eine einmalige Episode von OR. Ungeplante Trainingsreduktionen auf 80% oder weniger des ursprünglich geplanten Trainingsvolumens waren in dem von uns beobachteten Kollektiv hingegen häufig.

Hooper et al. [1, 20] fanden in einer Beobachtungsstudie über 6 Monate bei 3 von 14 (21%) Schwimmern des australischen Nationalteams Zeichen von OR. Kriterien waren die fehlende Verbesserung in einem Schwimmtest und in den Wettkämpfen, ein erhöhter Müdigkeitsscore, entsprechende Bemerkungen im Trai-

ningstagebuch sowie der Ausschluss von medizinischen Ursachen für diese Entität. Lehman et al. [21] fanden, dass nach einer harten Trainingsphase («Superkompensationstraining») bei 25–50% der Athleten Symptome und Zeichen von OR auftraten. In zwei Studien von Morgan et al. gaben von 15 Eliteläuferinnen 9 (60%) [22] und von 14 Eliteläufern ebenfalls 9 (64%) [23] anamnestisch an, dass sie in ihrer Karriere mindestens einmal Anzeichen von «staleness» zeigten. In einer älteren Studie erwähnt Markusas [24], dass bei den von ihm und seinem Team durchgeführten «sportärztlich-pädagogischen Untersuchungen» in sieben Jahren bei 2000 Untersuchungen 48 Fälle von Übertraining (2.5%) vorgekommen seien. Obschon Studien mit gezielten Eingriffen ins Training zur Induktion von OR Inzidenzen bis zu 100% vorweisen [25], verbessern einzelne Athleten ihre Leistung zum Teil auch unter enormen Trainingssteigerungen [26].

Vergleiche der Inzidenz sind aus Gründen der bei vielen Autoren fehlenden oder unterschiedlichen Definition und Operationalisierung der Begriffe schwierig. Die im Vergleich mit Hooper et al. [20] niedrige Inzidenz von OR bei unseren Probanden kann mit unseren restriktiven Kriterien begründet und/oder mit einer vergleichsweise angepassteren Trainingsplanung erklärt werden. Zudem könnte die Teilnahme an der Studie zu einer Sensibilisierung von Fragen der Beanspruchung und Erholung geführt haben. Erfahrungsgemäss ist eine fehlende Leistungsprogredienz – wie sie von Hooper et al. [20] zur OR-Diagnose verlangt wird – auch nach Overload Training zu erwarten (vgl. Steinacker et al. [27]; Overload Training von dieser Gruppe mit «Overreaching» bezeichnet).

Aspekte des Einzelfalles mit Overreaching

Recht aufschlussreich ist der als einziger aufgetretene, jedoch gut dokumentierte Fall von Overreaching. Der Leistungseinbruch wurde im Leistungstest bestätigt. Der Leistungsabfall war angesichts des Trainingspensums (dieses lag im Jahresdurchschnitt) und der bisherigen Leistungsentwicklung (die Athletin erreichte 2 Wochen vorher an der WM Ränge unter den ersten 10) unerwartet. Die Athletin zeigte weder objektiv noch subjektiv irgendwelche Anzeichen von Krankheit. Die Schlafdauer war durchschnittlich. Die Symptome und Zeichen, welche bei dieser Athletin im Zusammenhang mit dem müdigkeitsbedingten Leistungsabfall auftraten, erreichten bei weitem nicht Krankheitswert. Die Erholungszeit von diesem Zustand dauerte trotz fehlender Trainingsreduktion nur etwa zwei Wochen. Differentialdiagnostisch ist deshalb ein Übertrainings-Syndrom nach unserer Definition [6] ausgeschlossen.

Die Probandin berichtete über deutlich vermehrte Belastungen im beruflichen Umfeld im Anschluss an die WM. In dieser Zeit musste sie aus beruflichen und privaten Gründen vermehrt reisen und pendente, dringende Arbeiten erledigen. Obschon sich das Trainingspensum in durchschnittlichem Rahmen bewegte, war offenbar die Regenerationszeit nicht optimal gestaltet. Insofern kann von einem Ungleichgewicht zwischen Belastung – in diesem Fall beruflicher Natur – und Erholung bei gleich bleibendem Trainingspensum ausgegangen werden. Diese Dysbalance wurde mit EBF und POMS bestätigt. Die Athletin klagte auch vermehrt über Müdigkeit und fühlte sich von den Trainings des Vortages jeweils weniger erholt.

Obschon die Probandin in den darauf folgenden Wochen ihr Trainingspensum nicht reduzierte, erholte sie sich innerhalb von 3 bis 4 Wochen. Die Athletin konnte sich offenbar in den Ferien auch auf den langen Wanderungen – trotz der an sich vermehrten körperlichen Belastung – weitgehend erholen. Dies deutet ebenfalls auf eine primär erhöhte berufliche Belastung als Ursache des OR hin. Diese Erholung wurde auch in einer entsprechenden Verbesserung aller Parameter sowie einer Verbesserung der Wettkampfleistung einen Monat nach dem Overreaching bestätigt.

Im Laktatstufentest nahm die Herzfrequenz im Vergleich zum Vortest ab, wobei diese Differenz mit zunehmender Geschwindigkeit kontinuierlich geringer wurde. Die Gründe für dieses Herzfrequenzverhalten sind nicht klar. Israel [28] beschreibt die submaximale Herzfrequenz als sehr konstant und erachtet bereits



Abbildung 5: Verlauf der Standardabweichungen der Gesamtscores des Erholungs-Belastungs-Fragebogens (EBF) eines Orientierungsläufers. P/D: Prüfungen oder Diplomarbeit, Kr: Krankheit.

eine Veränderung von ± 4 bpm als interpretationswürdig. Die submaximale Herzfrequenz nimmt bei gegebener Belastung bei gut Trainierten versus Untrainierten ab [29]. Auch im OR wurden oft erniedrigte [28, 30] oder zumindest «veränderte» [5] submaximale Frequenzen beschrieben, aber auch gleich bleibende [1, 29].

Eine Veränderung im Tonus des Autonomen Nervensystems müsste auch eine Veränderung der Parameter des Orthostatetests, also der RHF und der Δ HF nach sich ziehen. Ist der Vagotonus erhöht, so müsste eine erniedrigte RHF und eine erniedrigte Δ HF erwartet werden. Bei unserer Athletin war die Δ HF erniedrigt, nicht jedoch die RHF. Unter anderen vermutet Israel [28], dass eine erniedrigte RHF bei Sportlern durch den erhöhten vagalen Tonus bedingt ist. Diese Vermutung beruht auf der Tatsache, dass pharmakologische [31, 32] oder chirurgische [33] Blockierung des Vagusnervs eine Erhöhung der Herzfrequenz bewirkt. Viele Autoren teilen allerdings diese Ansicht nicht. Andere modulierende Einflüsse wie eine erniedrigte intrinsische Herzfrequenz [31, 32] (Herzfrequenz unter chirurgischer oder pharmakologischer Ausschaltung der Einflüsse des Autonomen Nervensystems), Veränderungen der β -Adrenozeptordichte am Herzen [34], Veränderungen des Metabolismus der Herzmuskelzellen [32], Veränderungen der Pacemakerzellen [32, 34], mechanische Veränderungen des Herzens [32] oder weitere intrinsische Faktoren werden diskutiert.

Das Verhalten der Herzfrequenz in Leistungstest und Orthostatetest kann somit nicht abschliessend erklärt werden. RHF und Δ HF stehen zumindest in keinem Widerspruch zu der Annahme, dass sich das OR von Probandin G in einer Erhöhung des parasympathischen Tonus äusserte. Denkbar ist, dass bei Probandin G bei Ermüdung keine Veränderungen der RHF zu beobachten sind. Allerdings verläuft die Δ HF über eine «Stressphase» mit erhöhten zu einer «Erschöpfungsphase» mit erniedrigten Werten. Das Problem bei der Interpretation der Δ HF ist wie bei der RHF, dass sie sich sowohl unter optimalem Training [13] als auch unter OR verkleinert. Möglich wird die Interpretation dieses Parameters nur durch die Betrachtung des individuellen Verlaufes. Eine Reduktion der Δ HF scheint bei Athletin G mit einer Ermüdung einherzugehen, eine Normalisierung auf durchschnittliche Werte deutet offenbar eine Erholung an.

Adäquatheit des Begriffs «Übertraining»

Die Grenzen des Begriffs «Übertraining» werden im vorliegenden Fall deutlich aufgezeigt. Die Athletin trainierte in durchschnittlichem Umfang. Trotzdem war die Gesamtbelastung für die Probandin in dieser Zeit gegenüber den Faktoren der Erholung relativ zu gross. Es lag weniger ein absolutes Übermass an Trainingsbelastung als vielmehr eine ungenügende Qualität und/oder Quantität der Erholungsfaktoren vor. Dieser Umstand ist bereits seit längerem bekannt und wird immer wieder betont [3, 4, 5]. Es ist möglich, dass sich das «Übertraining» von einer «Unter-Erholung» in seinen Extremvarianten unterscheidet, unter Umständen sogar in seinen physiologisch-morphologischen und psychologischen Symptomen und Zeichen.

Bei einem absoluten Übermass an Training steht wohl die mechanische Beanspruchung des Körpers im Vordergrund. Bei einigermaßen konstanten Ausseneinflüssen, z.B. innerhalb eines Trainingslagers, kann das Trainingsmonitoring mit Parametern der akuten Muskelschädigung (Harnsäure, Harnstoff, Myoglobin, CK oder hormonell-metabolische Parameter) durchaus valable Verlaufswerte der Trainingsbelastung ergeben [9].

Die quantitative Erfassung der «Unter-Erholung» dürfte hingegen sehr schwierig sein. Da die nicht trainierend verbrachte Zeit nur selten mit der «Erholungszeit» identisch ist, kann es insbesondere für nichtprofessionelle Athleten nützlich sein, ein Gesamt-mass für den Erholungs-Belastungs-Zustand zu erfassen, z.B. mit den eingesetzten psychologischen Fragebogen.

Frühzeichen einer ungeplanten Trainingsreduktion

Einzelne unserer Testpersonen, allesamt nichtprofessionelle Ausdauerathleten auf Hoch- und Höchstleistungsniveau, mussten in bis zu einem Drittel der beobachteten Trainingswochen eine Trai-

ningsreduktion vornehmen. Zu beachten ist allerdings, dass die Trainingsreduktion nur in der ersten Woche reaktiv war und dass die Athleten in den Folgewochen die Trainingsplanung entsprechend angepasst haben. Der effektive Verlust an Trainingspensum dürfte somit um einiges höher liegen. Der Vergleich der Inzidenz ungeplanter Trainingsreduktionen mit anderen Publikationen ist nicht möglich, da unseres Wissens diese in der vorliegenden Form noch nicht erfasst wurden.

Eine primär ungeplante Trainingsreduktion ist für einen Spitzenathleten ein einschneidendes Ereignis. Das Trainingskontinuum, die kontinuierliche Steigerung des Trainingspensums wird gestört. Der Sportler glaubt vielleicht, er müsse die «verlorenen» Trainingseinheiten wieder «aufholen», oder er betrachtet seine gesamte Planung als gescheitert. Wenn sich ein Athlet weiter verbessern will, ist es andererseits wichtig, dass er seine Leistungsgrenzen auslotet, indem er sie zum Teil auch überschreitet. Auch die Belastungen durch Studium oder Beruf bei nichtprofessionellen Sportlern können stark schwanken. Diese Schwankungen sind nicht immer vorhersehbar, das Training muss der jeweiligen Situation flexibel angepasst werden. Insofern ist es nicht möglich, den «perfekten» Trainingsplan anfangs Jahr festzulegen. Die kurzfristige Feinabstimmung des Pensums ist unerlässlich. Der Vergleich zwischen dem effektiv absolvierten Training und dem ursprünglich geplanten Pensum gibt deshalb Hinweise darauf, ob ein Athlet seine Grenzen kennt und auch akzeptiert und damit unter anderem Verletzungen und einem Übertrainings-Syndrom vorbeugt.

Krankheit als Ursache der primär ungeplanten Trainingsreduktion

Klar häufigste Ursache für eine primär ungeplante Trainingsreduktion bei unseren Probanden waren Krankheiten. Meist handelte es sich um grippale Infekte mit den entsprechenden Symptomen (Schnupfen, Husten, allenfalls Fieber und Gliederschmerzen). Ein Proband erlitt eine Streptokokkenangina und musste hospitalisiert werden, derselbe Athlet infizierte sich wenige Wochen später mit dem Epstein-Barr-Virus (Pfeiffersches Drüsenfieber).

Die ungeplante, krankheitsbedingte Trainingsreduktion beschränkt sich wegen der Rekonvaleszenzphase nicht nur auf die effektive Krankheitsphase (Trainingsreduktion bei unseren Probanden auf durchschnittlich 65% des ursprünglich geplanten Wochenpensums). Auch in der Rekonvaleszenzphase ist kein volles Trainingspensum möglich.

Einzelne Autoren vermuten einen Zusammenhang zwischen OR/OTS und vorausgegangenen Infekten [12]. Insbesondere das Epstein-Barr-Virus (EBV), der Erreger der Infektiösen Mononukleose (Pfeiffersches Drüsenfieber) wurde lange als Hauptursache für das chronische Müdigkeitssyndrom (CFS) angesehen, diese Hypothese wurde allerdings wieder verworfen [35]. Obwohl CFS und Übertrainings-Syndrom nach heutigem Wissen unterschiedliche Syndrome sind, zeigen beide einige Parallelen [36, 37]. Auch Athleten sind für das CFS gefährdet [38].

Die Frage, inwiefern Spitzenathleten anfälliger auf Infektionskrankheiten sind als die Durchschnittsbevölkerung, wird breit diskutiert [39, 40, 41, 42]. Zwischen der Trainingsdauer und deren Intensität einerseits und dem Infektionsrisiko andererseits wird eine so genannt «J-förmige» Beziehung vermutet [43]. Menschen, die sich auf mittlerer Stufe sportlich betätigen, zeigen offenbar immunologische Vorteile gegenüber inaktiven Leuten. Sie scheinen insbesondere weniger an Infektionen des oberen Respirationstraktes (URTI) zu leiden [44]. Hingegen setzten sich Spitzenathleten mit sehr umfangreichen und intensiven Trainingspensum einem entsprechend grösseren Infektionsrisiko aus. Eine Modellvorstellung für die erhöhte Infektanfälligkeit bei Spitzenathleten ist die «Open-Window»-Theorie [45]. Drei Stunden bis drei Tage nach einer intensiven Belastung scheint die Abwehrlage eines Athleten derart erniedrigt zu sein, dass ein so genanntes «offenes Fenster», also eine erleichterte Eintrittspforte für infektiöse Partikel entsteht. Nach dieser Phase haben sich Körper und Immunsystem wieder erholt, eventuell sogar über das ursprüngliche Niveau hinaus, entsprechend einer «immunologischen Superkompensation».

Obwohl beim Athleten durch die sportliche Belastung teilweise grosse Veränderungen auf Ebene der Organe und Zellen des Immunsystems, der Oberflächmoleküle, Immunglobuline [46, 47, 49], Hormone [46], Aminosäuren und Zytokine, sowie der Pro- und Antioxidativen Stoffe [48] geschehen, konnten diese bisher nicht in einen direkten Zusammenhang mit dem erhöhten Infektionsrisiko der Spitzensportler gebracht werden [49].

Unsere Probanden zeigten in den vier bis acht Wochen vor wichtigen Wettkämpfen eine Häufung krankheitsbedingter Trainingsreduktionen (Daten nicht präsentiert). Dies, obwohl in den sieben Wochen vor diesen Saisonhöhepunkten im individuell durchschnittlichen Rahmen trainiert wurde. Die Trainingsdauer vor den Wettkämpfen kann somit bei unseren Athleten nicht als Begründung für die erhöhte Krankheitsrate gelten. Allenfalls können weitere Stressoren im Vorfeld der Wettkämpfe für die erhöhte Infektanfälligkeit verantwortlich gemacht werden (Nervosität, Trainingslager etc.), hingegen finden sich weder in POMS- noch in EBF-Gesamtscores Hinweise zur Bestätigung dieser Vermutung.

Wir fanden keine allgemein gültigen Vorzeichen im Sinne eindeutiger Parameterkonstellationen der krankheitsbedingten Trainingsreduktion. Insbesondere die von Trainern und Athleten oft als Frühwarnsymptom angesehene Erhöhung des Ruhepulses konnten wir bei unseren Athleten nicht zeigen. Wie aus *Tabelle 2* ersichtlich ist, sind vor Krankheiten zwar einzelne Parameter überdurchschnittlich erhöht oder erniedrigt, allerdings sind dieselben Parameter oft auch ohne ersichtlichen Grund verändert.

Müdigkeit als Ursache der primär ungeplanten Trainingsreduktion

Müdigkeit war – nach Krankheiten und Verletzungen – die dritthäufigste Ursache einer primär ungeplanten Trainingsreduktion auf 80% oder weniger des ursprünglich geplanten Pensums. Allerdings mussten nur vier von elf Athleten (28%) ihr Training aus diesem Grund reduzieren, zwei Athleten je dreimal und je ein Athlet zwei- bzw. einmal.

Wie im Einzelfall von Overreaching bereits dargelegt, muss die Müdigkeit nicht nur trainingsbedingt sein. Externe und interne Stressoren, welche die Erholung beeinträchtigen, können Müdigkeit verursachen. Müdigkeit ist eines der häufigsten Symptome in der Allgemeinpraxis [50, 51]. Die Differentialdiagnose der Müdigkeit ist dementsprechend auch für Spitzensportler sehr gross [18].

Einer müdigkeitsbedingten Trainingsreduktion gingen keine eindeutig interpretierbaren Veränderungen in Leistungstests, Trainingspensum, psychologischen Fragebogen oder Orthostatetests voraus. Die Veränderungen von RHF und Δ HF erreichten zwar knapp statistische Signifikanz, die absolute Veränderung von ca. 2 bpm im Wochendurchschnitt dürfte aber in praxis kaum erfassbar sein.

Interessanterweise erreichte die Trainingsdauer in der Woche der ungeplanten Trainingsreduktion kein Minimum, sondern sank in den zwei darauf folgenden Wochen weiter und stieg erst ab der dritten Woche wieder an. Es kann nur darüber spekuliert werden, inwiefern eine konsequentere Reduktion des Pensums bereits in der ersten Woche eine schnellere Regeneration und dadurch auch eine schnellere Wiederaufnahme der gewohnten Pensum ermöglicht hätte.

In Einzelfällen gingen Parameterveränderungen aber der müdigkeitsbedingten Trainingsreduktion oder einer Krankheit voraus.

So zeigte Proband H nur dann eine Erhöhung von RHF und der Δ HF, wenn er anschliessend krank oder übermüdet war (*Abbildung 3*). Czajkowski [13] erwähnte allerdings ein Problem bei der praktischen Umsetzung des Orthostatetests. Der Test war im ersten Jahr seiner Durchführung gut interpretierbar und hatte entsprechende Konsequenzen auf das Training der von ihm getesteten Skilangläufer. Die Athleten wussten im Folgejahr um die Wichtigkeit dieses Tests und dass dessen Ergebnisse Auswirkungen auf ihr Training haben könnten. Einzelne Läufer waren deshalb während der Messung nervös, was die Testresultate verfälschte.

Ein weiterer Proband (Proband C) zeigte in den EBF- und POMS-Scores nur dann unterdurchschnittliche Werte, wenn die

schulische Belastung sehr gross wurde (*Abbildung 5*). Wie bei der Probandin mit OR waren auch bei Proband C somit vorwiegend Stressoren aus dem Umfeld und nicht die absolute Trainingsbelastung Ursache der negativen Belastungs-Erholungs-Bilanz; die Trainingsdauer in dieser Zeit war durchschnittlich (Daten nicht präsentiert). Insofern widerspricht der Einzelfall von Proband C auch den Ergebnissen von Morgan et al. [22]. Diese Gruppe verglich über einen Zeitraum von 13 Wochen die POMS-Gesamtscores von 44 College-Schwimmern mit 86 College-Studenten, welche keinen Wettkampfsport betrieben. Während die Werte der Nichtsportler konstant blieben, verschlechterten sich diejenigen der Wettkämpfer mit zunehmendem Trainingspensum. Diese Gruppe nahm an, dass die Verschlechterung der Werte deshalb vor allem auf das Training und weniger auf Ausseneinflüsse («other stressors common to college students») zurückzuführen sei. Es ist allerdings anzunehmen, dass sich positive und negative Ausseneinflüsse einzelner Studenten innerhalb einer Gruppe von 86 Personen gegenseitig aufheben.

Argumente für eine «individualisierte» Betrachtungsweise

Hartmann et al. [9] zeigten am Beispiel der Harnsäure und der Kreatinkinase deutlich die Schwächen eines so genannt allgemein gültigen absoluten Grenzwertes für Übermüdung auf. Diese Gruppe schlägt vor, aus einer genügend grossen Anzahl von Werten eines bestimmten Parameters eine individuelle Baseline zu ermitteln und die Verlaufsbeobachtungen mit dieser Baseline zu vergleichen.

Selbst wenn die Parameterwerte wie in der vorliegenden Studie individuell normiert werden (z-Standardisierung), ist ein Problem oft nicht erkennbar, wenn nur absolute Grenzwerte (z.B. 1.5 SD) und nicht Verläufe beachtet werden. Sowohl die im Jahresverlauf zunehmend schlechteren Werte im EBF-Gesamtscore bei Proband C wie auch die zunehmenden RHF und Δ HF bei Proband H sind schon zwei bis fünf Wochen vor Erreichen der «kritischen Schwelle 1.5 SD» erkennbar.

Werden Parameterverläufe beachtet, wird es möglich, das Training zu «titrieren». Das Training kann so lange gesteigert werden, wie ein bestimmter Verlaufsparameter innerhalb gewisser Grenzen um die zuvor ermittelte individuelle Baseline pendelt. Berglund und Säfström [52] titrierten beispielsweise mit dem Gesamtscore einer schwedischen Version des POMS 14 Kanuten im Hinblick auf die Olympischen Spiele 1992. Zwei bis drei Tests ausserhalb der Wettkampfsaison («off-season») galten als Baseline. Das Trainingspensum wurde erhöht, wenn der aktuelle Wert den Wert «Baseline +10%» unterschritt. Das Training wurde reduziert, wenn die Scores den Wert «Baseline +50%» überschritten, was bei neun Athleten mindestens einmal der Fall war. Allerdings litt keine der Testpersonen im unmittelbaren Vorfeld der Olympischen Spiele an Overreaching. Eine ausgeglichene Belastungs-Erholungs-Bilanz kann somit durchaus als Voraussetzung für ein optimales Training gelten.

In Berglunds und Säfströms Studie [52] wurde einerseits ermittelt, welches Trainingspensum sich bei einer bestimmten Belastungssituation nicht negativ auf die Erholungs-Belastungs-Bilanz auswirkt, andererseits aber auch, ob die Grundvoraussetzungen von Seiten der Erholungs-Belastungs-Bilanz des Athleten (entsprechend dem POMS-Wert) für ein bestimmtes Trainingsquantum gegeben waren. Das Trainingsquantum als Mischwert zwischen Trainingsdauer und -intensität kann dabei beispielsweise mit dem Trainings-Impuls (TRIMP) nach Banister [53] oder mittels Load, Strain und Monotony nach Foster und Lehmann [19] ermittelt werden.

Sowohl die EBF- wie auch die POMS-Globalwerte zeigten sich in der vorliegenden Studie oft undifferenziert. Eine individuelle Analyse auf Ebene der einzelnen Dimensionen dieser Skalen und unter Einbezug von einzelfallbezogenen Zeitreihenanalysen könnte hier allenfalls eine verfeinerte Verlaufsbeobachtung ermöglichen.

Schlussfolgerungen

Hauptziel dieser prospektiven, nichtexperimentellen Studie, die mit 11 ausdauertrainierten Eliteathleten der Sportarten Orientierungslauf, Triathlon und Duathlon durchgeführt wurde, war die Evaluierung eines multidimensionalen Assessments zur Früherkennung von Overreaching (OR, Überbelastung) und Übertrainings-Syndrom (OTS). Die vorliegend erfassten hypothetischen Prädiktoren einer Überbelastung zeigten einen gewissen Zusammenhang mit dem Einzelfall des OR, gingen aber diesem nicht eindeutig voraus. Die Verlaufparameter waren eher generelle Indikatoren eines Ungleichgewichtes zwischen Belastung und Erholung, ohne allerdings Frühwarnsymptome für die drohende Übermüdung zu sein.

Unsere Resultate deuten darauf hin, dass es selbst mit einer Kombination von präsumtiven «Vorboten eines Übertrainings» nicht möglich ist, in allgemein gültiger Weise eine sich anbahnende Überbelastung in ihrem Frühstadium zu erkennen. Dagegen scheint es, dass auf einer strikt individuellen Ebene praktisch jeder der untersuchten Parameter dann als Prädiktor der Ermüdung dienen kann, wenn er in Relation zu einem individuellen Referenzwert, idealerweise einer «persönlichen Baseline», gesetzt werden kann. Wir glauben, dass der vielversprechendste Weg im Hinblick auf Trainingsmonitoring und Früherkennung des OR eine noch sorgfältigere Suche nach dem individuellen Verhalten derjenigen Parameter ist, welche in der Übertrainingsgenese systemisch involviert sind. Leider müssen dazu eine Vielzahl von möglichen Parametern und Reaktionsmustern berücksichtigt werden, weshalb man methodisch an den Rand des Machbaren gerät.

Offensichtlich stösst man in der wissenschaftlichen Bearbeitung der Übertrainingsfrage in einen Grenzbereich der traditionellen, an gruppenstatistischen Verfahren orientierten empirischen Forschung vor. Dieser ist deswegen heikel und intellektuell stimulierend zugleich, weil er einem traditionellen Anspruch der Forschungstätigkeit – nämlich Allgemeingültiges, Generalisierbares zu erkennen – nicht mehr vollumfänglich genügen kann.

Dank

Die Autoren danken den 11 Spitzenathletinnen und -athleten ganz herzlich für ihre engagierte Teilnahme an diesem aufwändigen Projekt. Andrea Binggeli und Carmen Camenzind danken wir für die Dateneingabe und ihre engagierte Mithilfe bei den Athletengesprächen. Das gesamte Team des SWI hat mit Rückmeldungen, Anregungen und konstruktiver Kritik zum Gelingen dieses Projekts beigetragen.

Korrespondenzadresse:

Dr. med. Roger Vogel, Sportwissenschaftliches Institut, Bundesamt für Sport, CH-2532 Magglingen, Tel. 032 327 61 67, E-Mail: roger.vogel@baspo.admin.ch

Literaturverzeichnis

- 1 Hooper S.L., Mackinnon L.T., Gordon R.D., Bachmann A.W.: Hormonal responses of elite swimmers to overtraining. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1993; 25(6): 741–747.
- 2 Morgan W.P., Brown D.R., Raglin J.S., O'Connor P.J., Ellickson K.A.: Psychological monitoring of overtraining and staleness. *Br. J. Sports Med.* 1987; 21(3): 107–114.
- 3 Kuipers H., Keizer H.A.: Overtraining in elite athletes. Review and directions for the future. *Sports Med.* 1988; 6(2): 79–92.
- 4 Hooper S.L., Mackinnon L.T.: Monitoring overtraining in athletes. Recommendations. *Sports Med.* 1995; 20(5): 321–327.
- 5 Fry R.W., Morton A.R., Keast D.: Overtraining in athletes. An update. *Sports Med.* 1991; 12(1): 32–65.
- 6 Vogel R.: «Übertraining»: Begriffsklärungen, ätiologische Hypothesen, aktuelle Trends und methodische Limiten. Schweiz. Z. Sportmed. Sporttraumat. 2001; 49(4): 154–162.
- 7 Urhausen A., Gabriel H., Kindermann W.: Blood hormones as markers of training stress, and overtraining. *Sports Med.* 1995; 20(4): 251–276.
- 8 Viru A., Viru M.: Biochemical Monitoring of Sport Training, Human Kinetics 2001.
- 9 Hartmann U., Mester J.: Training, and overtraining markers in selected sport events. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2000; 32(1): 209–215.
- 10 Hoogeveen A.R., Zonderland M.L.: Relationships between testosterone, cortisol, and performance in professional cyclists. *Int. J. Sports Med.* 1996; 17(6): 423–428.
- 11 Israel S.: Zur Problematik des Übertrainings aus internistischer und leistungsphysiologischer Sicht. *Med. Sport* 1976; 16(1): 1–12.
- 12 Kindermann W.: Das Übertraining – Ausdruck einer vegetativen Fehlsteuerung. *Dtsch. Z. Sportmed.* 1986; 37(8): 238–245.
- 13 Czajkowski W.: A simple method to control fatigue in endurance training. In: Komi P.V. (Ed.): Exercise and Sport Biology, International Series on Sport Sciences 12, 207–212, Human Kinetics, Champaign IL, 1982.
- 14 Bullinger M., Heinisch M., Ludwig M., Geier S.: Skalen zur Erfassung des Wohlbefindens: psychometrische Analysen zum «Profile of Mood States» (POMS) und zum «Psychological general wellbeing index» (PGWI). *Z. Diff. Diagn. Psychol.* 1990; 11(1): 53–61.
- 15 Kellmann M., Kallus K.W.: Erholungs-Belastungsfragebogen für Sportler. EBF-Sport. Manual. Swets Test Services. Frankfurt am Main, 2000.
- 16 Borg G.A.V., Noble B.J.: Perceived exertion. In: Wilmore J.H.: Exercise and Sport Sciences Reviews, Vol. 2: Academic Press, NY & London, 1974.
- 17 Tschopp M., Held T., Villiger B., Marti B.: Qualitätsstandards in der Ausdauerleistungsdiagnostik. Schweiz. Z. Sportmed. Sporttraumat. 2001; 49(2): 57–66.
- 18 Derman W., Schweltnus M.P., Lambert M.I., Emms M., Sinclair-Smith C., Kirby P., Noakes T.D.: The «worn-out athlete»: A clinical approach to chronic fatigue in athletes. *J. Sports Sci.* 1997; 15(3): 341–351.
- 19 Foster C., Lehmann M.: Overtraining Syndrome. In: Guten G.N. (Ed.): Running Injuries, Philadelphia: Saunders, 1997, 173–188.
- 20 Hooper S.L., Mackinnon L.T., Howard A., Gordon R.D., Bachmann A.W.: Markers for monitoring overtraining and recovery. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1995; 27(1): 106–112.
- 21 Lehmann M., Foster C., Gastmann U., Keizer H., Steinacker J.M.: Definition, types, symptoms, findings, underlying mechanisms, and frequency of overtraining and overtraining syndrome. In: Lehmann et al. (Eds.): Overload, Performance incompetence, and regeneration in Sport; Kluwer Academic / Plenum Publishers, New York, 1999; 1–6.
- 22 Morgan W.P., O'Connor P.J., Sparling P.B., Pate R.R.: Psychological characterization of the elite female distance runner. *Int. J. Sports Med.* 1987; 8(Suppl. 2), 124–131.
- 23 Morgan W.P., O'Connor P.J., Ellickson K.A., Bradley P.W.: Personality structure, mood states, and performance in elite male distance runners. *Int. J. Sport Psychol.* 1988; 19(4): 247–263.
- 24 Markusas F.: Die sportärztlich-pädagogischen Untersuchungen als Mittel zur Bestimmung des Übertrainiertseins bei Sportlern. *Medizin und Sport* 1964; 4(2): 37–38.
- 25 Mackinnon L.T.: Special feature for the Olympics: effects of exercise on the immune system: overtraining effects on immunity and performance in athletes. *Immunol. Cell. Biol.* 2000; 78(5): 502–509.
- 26 Lehmann M., Dickhuth H.H., Gendrisch G., Lazar W., Thum M., Kaminski R., Aramendi J.F., Peterke E., Wieland W., Keul J.: Training-overtraining. A prospective, experimental study with experienced

- middle- and long-distance runners. *Int. J. Sports Med.* 1991; 12(5): 444–452.
- 27 *Steinacker J.M., Lormes W., Kellmann M., Liu Y., Reissnecker S., Opitz-Gress A., Baller B., Günther K., Petersen K.G., Kallus K.W., Lehmann M., Altenburg D.*: Training of junior rowers before world championships. Effects on performance, mood state and selected hormonal and metabolic responses. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 2000; 40(4): 327–335.
- 28 *Israel S.*: Sport und Herzschlagfrequenz. Sportmedizinische Schriftenreihe der Deutschen Sporthochschule für Körperkultur, Leipzig: J.A. Barth, Leipzig, 1982.
- 29 *Uusitalo A.L.T., Uusitalo A.J., Rusko H.K.*: Heart rate and blood pressure during heavy training and overtraining in the female athlete. *Int. J. Sports Med.* 2000; 21(1): 45–53.
- 30 *Hedelin R., Kentta G., Wiklund U., Bjerle P., Henriksson-Larsen K.*: Short-term overtraining: effects on performance, circulatory responses and heart rate variability. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2000; 32(8): 1480–1484.
- 31 *Negrão C.E., Morera E.D., Santos M.C.L.M., Farah V.A.M., Krieger E.M.*: Vagal function impairment after exercise training. *J. Appl. Physiol.* 1992; 72(5): 1749–1753.
- 32 *Katona P.G., McLean M., Dighton D.H., Guz A.*: Sympathetic and parasympathetic cardiac control in athletes and nonathletes at rest. *J. Appl. Physiol.* 1982; 52(6): 1652–1657.
- 33 *Ordway G.A., Charles J.B., Randall D.C., Billman G.E., Wekstein D.R.*: Heart rate adaptation to exercise training in cardiac-denervated dogs. *J. Appl. Physiol.* 1982; 52(6): 1586–1590.
- 34 *Bonaduce D., Petretta M., Cavallaro V., Apicella C., Iannicello A., Romano M., Bregli R., Marciano F.*: Intensive training and cardiac autonomic control in high level athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1998; 30(5): 691–696.
- 35 *Eichner E.R.*: Chronic fatigue syndrome: Searching for the cause and treatment. *Phys. Sportsmed.* 1989; 17(6): 142–152.
- 36 *Holmes G.P., Kaplan J.E., Gantz N.M., Komaroff A.L., Schonberger L.B., Straus S.E., Jones J.F., Dubois R.E., Cunningham-Rundles C., Pahwa S., Tosato G., Zegans L.S., Purtilo D.T., Brown N., Schooley R.T., Brus I.*: Chronic fatigue syndrome: a working case definition. *Ann. Int. Med.* 1988; 108(3): 387–389.
- 37 *Shephard R.J.*: Chronic fatigue syndrome – An update. *Sports Med.* 2001; 31(3): 167–194.
- 38 *Eichner E.R.*: Chronic fatigue syndrome: How vulnerable are athletes? *Phys. Sportsmed.* 1989; 17(6): 157–160.
- 39 *Shephard R.J., Shek P.N.*: Exercise, immunity, and susceptibility to infection. *Phys. Sportsmed.* 1999; 27(6): 47–71.
- 40 *Keast D., Cameron K., Morton A.R.*: Exercise and the immune response. *Sports Med.* 1988; 5(4): 248–267.
- 41 *Nieman D.C.*: Exercise immunology: future directions for research related to athletes, nutrition, and the elderly. *Int. J. Sports Med.* 2000; 21(Supplement 1): 61–68.
- 42 *König D., Grathwohl D., Deibert P., Weinstock C., Northoff H., Berg A.*: Sport und Infekte der oberen Atemwege – Epidemiologie, Immunologie und Einflussfaktoren. *Dtsch. Z. Sportmed.* 2000; 51(7+8): 244–250.
- 43 *Nieman D.C.*: Exercise, upper respiratory tract infection, and the immune system. *Int. J. Sports Med.* 1994; 26(2): 128–139.
- 44 *Nieman D.C.*: Is infection risk linked to exercise workload? *Med. Sci. Sports Exerc.* 2000; 32(7 Suppl.): 406–411.
- 45 *Pedersen B.K., Ullum H.*: NK cell response to physical activity: possible mechanisms of action. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1994; 26(2): 140–146.
- 46 *Pedersen B.K., Bruunsgaard H., Klokke M., Kappel M., MacLean D.A., Nielsen H.B., Rohde T., Ullum H., Zacho M.*: Exercise-induced immunomodulation – possible roles of neuroendocrine and metabolic factors. *Int. J. Sports Med.* 1997; 18(Suppl. 1): 2–7.
- 47 *Mackinnon L.T., Hooper S.*: Mucosal (secretory) immune system responses to exercise of varying intensity and during overtraining. *Int. J. Sports Med.* 1994; 15 Suppl. 3: 179–183.
- 48 *Field C.J., Johnson I., Pratt V.C.*: Glutamine, and arginine: immunonutrients for improved health. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2000; 32(7 Suppl.): 377–388.
- 49 *Gleeson M., McDonald W.A., Pyne D.B., Clancy R.L., Cripps A.W., Francis J.L., Fricker P.A.*: Immune Status, and respiratory illness for elite swimmers during a 12-week training Cycle. *Int. J. Sports Med.* 2000; 21(4): 302–330.
- 50 *Baer D., Raetz M.A., Restellini A., Stalder H.*: «Ich bin müde». *Praxis* 1999; 98: 764–767.
- 51 *Horn B.*: Müdigkeit. *Schweiz. Ärztezeitung* 1998; 79(42): 2136–2141.
- 52 *Berglund B., Säfström H.*: Psychological monitoring and modulation of training load of world-class canoeists. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1994; 26(8): 1036–1040.
- 53 *Banister E.W.*: Modelling elite athletic performance. In: MacDougal L.D., Wenger H.A., Green H.J. (Eds.): *Physiological testing of the high-performance athlete*, Human Kinetics 1990.